

Список литературы

1. Beaman JJ, Barlow JW, Bourell DL, Crawford RH, Marcus Harris L, McAlea Kevin P: Solid freeform fabrication: a new direction in manufacturing. Kluwer Academic Publishers, 1997, Norwell, pp 25–49
2. Murr L. E. et al. Metal fabrication by additive manufacturing using laser and electron beam melting technologies //Journal of Materials Science & Technology. – 2012. – Т. 28. – №. 1. – С. 1-14.
3. Murr L. E. Metallurgy of additive manufacturing: Examples from electron beam melting //Additive Manufacturing. – 2015. – Т. 5. – С. 40-53.
4. Liu Y. J. et al. Microstructure, defects and mechanical behavior of beta-type titanium porous structures manufactured by electron beam melting and selective laser melting //Acta Materialia. 2016. – Т. 113. – С. 56-67.
5. Körner C. Additive manufacturing of metallic components by selective electron beam melting–areview //International Materials Reviews. – 2016. – Т. 61. – №. 5. – С. 361-377.
6. Zhao S. et al. Compressive and fatigue behavior of functionally graded Ti-6Al- 4V meshes fabricated by electron beam melting //Acta Materialia. – 2018. – Т. 150. – С. 1-15.
7. Lim G. et al. Residual Stresses in Ti-6Al- 4V Parts Manufactured by Direct Metal Laser Sintering and Electron Beam Melting //British Society of Strain Measurement. – 2017.
8. Rausch A.M., Kung V.E., Pobel C., Markl M., Korner C. Predictive Simulation of Process Windows for Powder Bed Fusion Additive Manufacturing: Influence of the Powder Bulk Density. MATERIALS 10(10) 1117 (2017) DOI: 10.3390/ma10101117
9. Yan W.T., Ge, W.J., Qian Y., Lin S., Zhou B., Liu W.K., Lin F., Wagner G.J.: Multi-physics modeling of single/multiple-track defect mechanisms in electron beam selective melting. ACTA MATERIALIA, vol 134 (2017), pp 324-333, DOI: 10.1016/j.actamat.2017.05.061
10. Yan W.T., Qian Y., Ma W.X., Zhou B., Shen Y.X., Lin F.: Modeling and Experimental Validation of the Electron Beam Selective Melting Process. ENGINEERING, vol 3(5), pp 701-707, DOI: 10.1016/J.ENG.2017.05.021

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФРИКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТРЕНИИ ЛАТУНИ Л63 С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

А.В. Филиппов, к.т.н, ст.преп.¹, н.с.², Н.Н. Шамарин, асс.¹, О.А. Подгорных, зав. лаб.¹

¹*Юргинский технологический институт Томского политехнического университета, 652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-7-77-61*

²*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, тел. (3822)-49-18-81*

E-mail: avf@ispms.ru

В работе рассматривается экспериментальное исследование динамики фрикционных процессов при трении объемных ультрамелкозернистых материалов. В качестве модельных образцов использовалась латунь Л63 с крупнокристаллической и ультрамелкозернистой структурой, сформированной методом равноканального углового прессования. В процессе сухого трения скольжения осуществлялась регистрация сигналов виброускорений и акустической эмиссии. Анализ коротких сигналов с применением преобразований Фурье позволил установить характерные параметры сигналов, полученных при трении крупнокристаллических и ультрамелкозернистых материалов.

Наиболее распространенными технологическими операциями формообразования ответственных и прецизионных изделий в машиностроении являются резание, выглаживание, шлифование и т.д. Все эти процессы сопровождаются интенсивным трением скольжения между инструментом и обрабатываемым изделием. Высокое удельное давление в процессах формообразования приводит к тому, что на контактных площадках трение осуществляется в условиях частичного или даже полного отсутствия смазки, т.е. в режиме сухого адгезионного трения скольжения [1–3]. Объемные материалы с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой являются перспективными с точки зрения их применения при производстве ответственных элементов авиационной и ракетнокосмической техники, прецизионных элементов измерительных приборов, а также мелкоразмерных элементов в робототехнике. Применение УМЗ материалов в указанных отраслях промышленности обусловлено их более высокими показателями по механической прочности, а также точности и качеству механической обработки, по сравнению с крупнокристаллическими материалами [4,5]. Механические колебания трибологической системы связаны с изменением динамики фрикционных процессов и оказывают существенное влияние на механику процесса трения, что выражается в изменении деформационного поведения исследуемых

материалов и сказывается на интенсивности их изнашивания [6]. Для экспериментального исследования динамики процессов трения применяют методы акусто- и вибродиагностики [7–18].

В связи с выше сказанным целью данной работы является исследование динамического поведения материалов с ультрамелкозернистой структурой в условиях сухого трения скольжения.

Для проведения исследований использовалась экспериментальная установка, представленная на рисунке 1. Трение скольжения осуществлялось по схеме палец-диск на трибометре Tribotechnic. Изменение динамики фрикционных процессов оценивалось с применением лазерного Доплеровского виброметра PSV-500-3D-HV и комплекса АЭ диагностики ЭЯ-2. Испытания проводились на образцах крупнокристаллической и ультрамелкозернистой латуни Л63. УМЗ образцы получены методом равноканального углового прессования (РКУП). Число проходов при РКУП составляло от 1 до 3. Число проходов эквивалентно степени деформации материала.

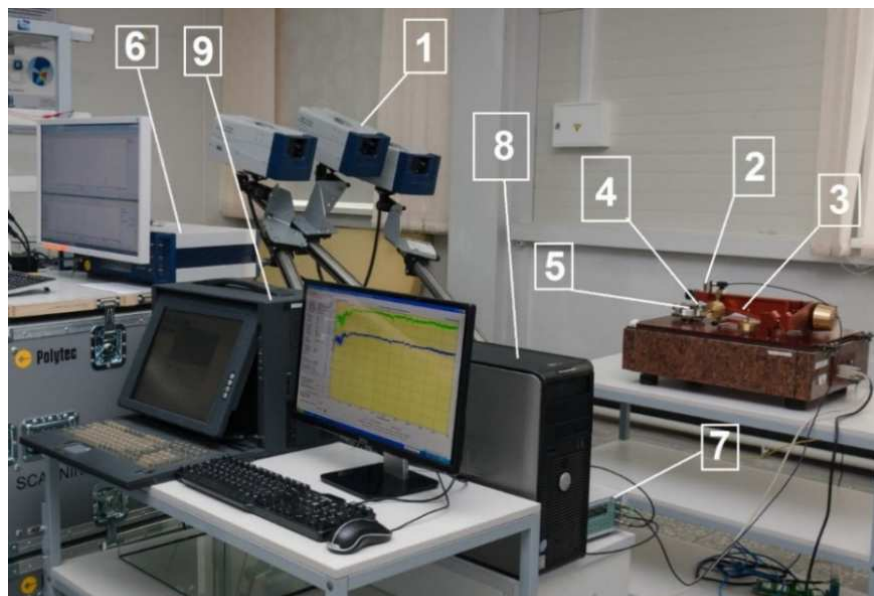


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – лазерный доплеровский виброметр, 2 – датчик АЭ, 3 – трибометр, 4 – образец, 5 – контртело, 6 – система обработки данных виброметра, 7 – усилитель АЭ, 8 – система обработки данных трибометра, 9 – система обработки данных АЭ.

На рисунке 2 приведен график иллюстрирующий влияние степени деформации материала и нормальной нагрузки на набегаящую величину среднеквадратичного значения амплитуды виброускорений. Увеличении степени деформации отражает степень измельчения структуры материала. Таким образом получается, что при уменьшении размерности структуры материала приводит к повышению амплитуды вибраций в трибологической системе.

Поскольку фрикционные процессы протекают на контактных площадках на коротком интервале времени, постольку более детальный анализ динамики трения лучше проводить выделив характерные короткие сигналы [19–22]. Так при трении неупрочненного материала с крупнокристаллической структурой амплитуда виброускорений состоит из периодических небольших всплесков с плавными периодами нарастания и затухания (рисунок 3а). В результате анализа изменения амплитуды методом быстрого Фурье преобразования (Short Time Fourier Transform – STFT) мы наблюдаем следующую картину (рисунок 3б). Во-первых, диапазон изменения амплитуды по времени для выделенных частот лежит в пределах от -135,5 до 10,5 Дб. Во-вторых, всплески амплитуды виброускорений находят в области невысоких частот от 600 до 2400 Гц. Отмеченные особенности указывают на монотонность процесса трения в условиях испытания неупрочненного материала с крупнокристаллической структурой.

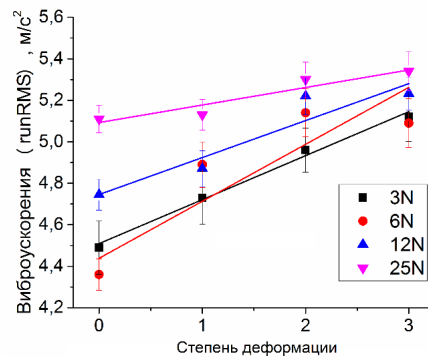


Рис. 2. Влияние степени деформации материала на среднее значение амплитуды виброускорений

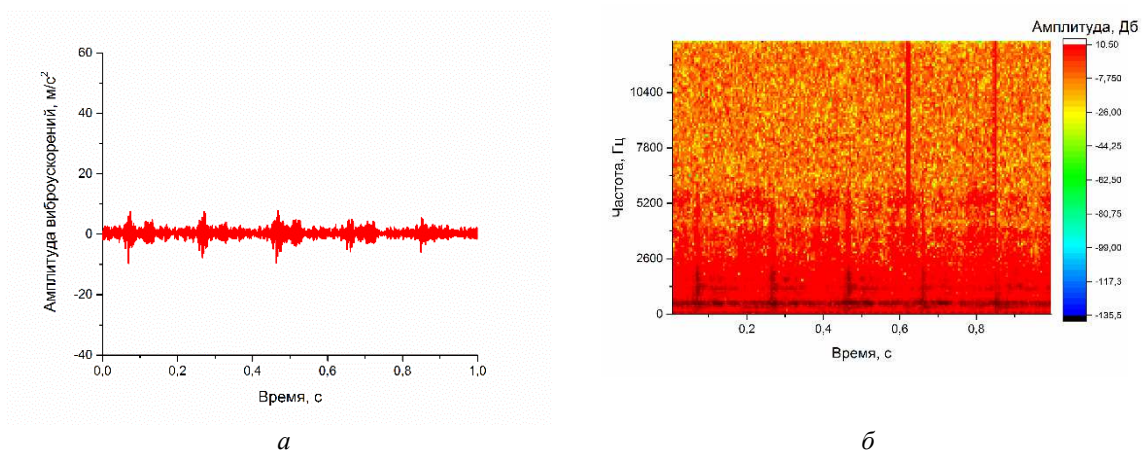


Рис. 3. Изменение амплитуды виброускорений (а) и STFT картина распределения частот колебаний (б) во времени при трении неупрочненного материала

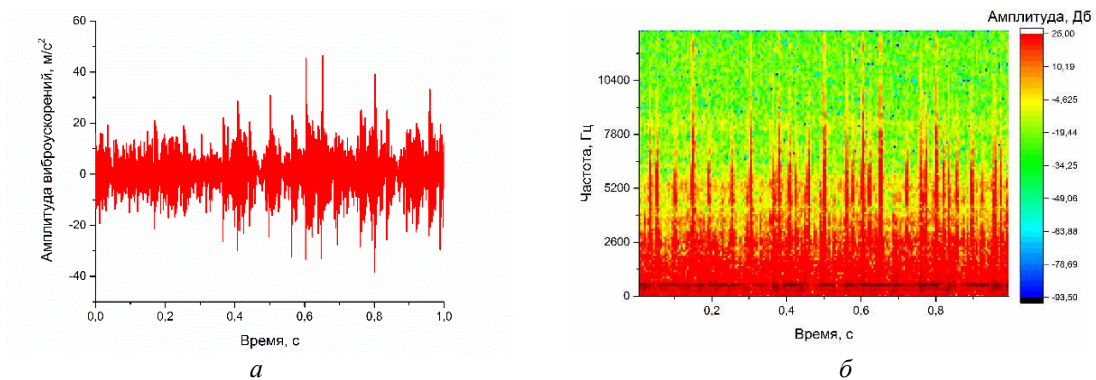


Рис. 4. Изменение амплитуды виброускорений (а) и STFT картина распределения частот колебаний (б) во времени при трении деформационно-упрочненного материала

При трении деформационно-упрочненного материала с УМЗ структурой количество всплесков амплитуды виброускорений резко увеличилось (рисунок 4а). Увеличение максимальной амплитуды виброускорений сопровождается сокращением периода её нарастания и затухания. STFT анализ (рисунок 4б) указывает на перераспределение энергии амплитуды сигнала, которая в рассматриваемом случае находится в диапазоне от -93,5 до 25 Дб. При этом диапазон частот и энергия амплитуды указывают на более неравномерное распределение амплитудно-частотных характеристик сигнала во времени, по сравнению с неупрочненным материалом. Такое поведение амплитуды сигнала виброускорений при сухом трении скольжения УМЗ материала указывает на увеличение колебаний в три-

биологической системе, вызванное повышенной механической прочностью и особенностями изнашивания приповерхностного слоя образцов с образованием микротрещин и частиц износа.

При трении исходного образца и образца после однократной обработки РКУП типичные фреймы АЭ содержат несколько всплесков амплитуды сигнала, которые почти полностью лишены периода нарастания и затухания (рисунок 5а). Тогда как типичные фреймы, полученные при трении двух- и трехпроходных образцов, содержат всплески амплитуды со значительным периодом нарастания и затухания (~ 3 ms) (рисунок 6а). После STFT обработки этих фреймов получено изменение во времени медианной частоты (рисунки 5б и 6б). При трении исходного образца и после однократной обработки РКУП во временной области всплесков амплитуды сигнала АЭ наблюдаются всплески величины медианной частоты (рисунок 5а). При трении образцов после двух- и трехпроходной обработки РКУП периодам всплесков с нарастанием и затуханием амплитуды АЭ соответствуют периоды значительного падения медианной частоты (рисунок 6б).

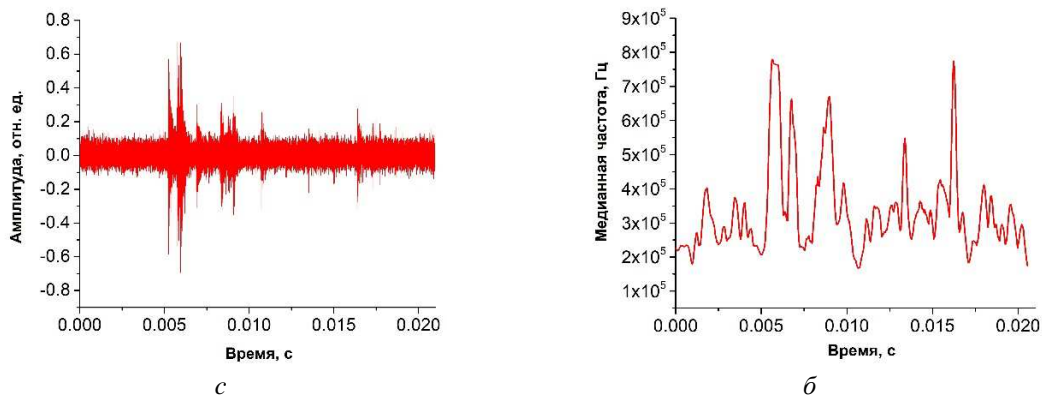


Рис. 5. Изменение амплитуды (а) и медианной частоты (б) акустической эмиссии при трении неупрочненного материала

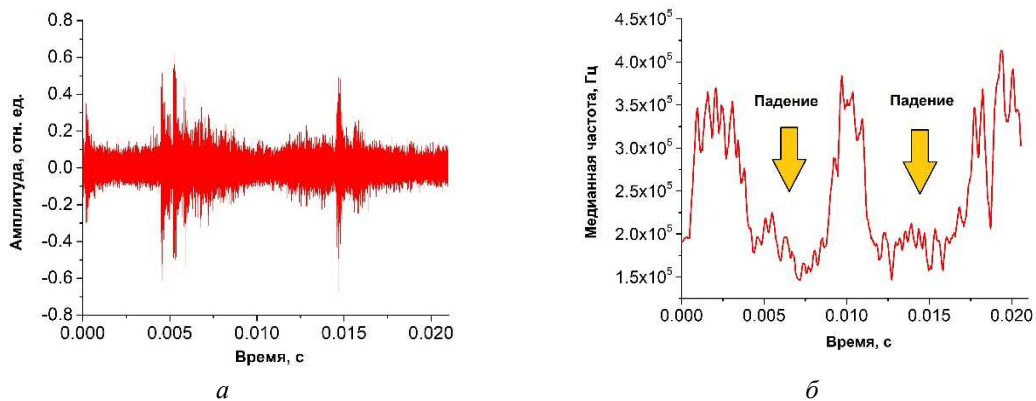


Рис. 6. Изменение амплитуды (а) и медианной частоты (б) акустической эмиссии при трении деформационно-упрочненного материала

Локальное падение медианной частоты объясняется изменением характера формирования и разрушения приповерхностного слоя материала, что подтверждается при проведении структурных исследований (рисунок 7). Как и в ранее выполненной работе [8] локальное падение медианной частоты соотносится с более интенсивным развитием деформационных процессов в приповерхностном слое и его разрушением с образованием множества трещин (рисунок 7б).

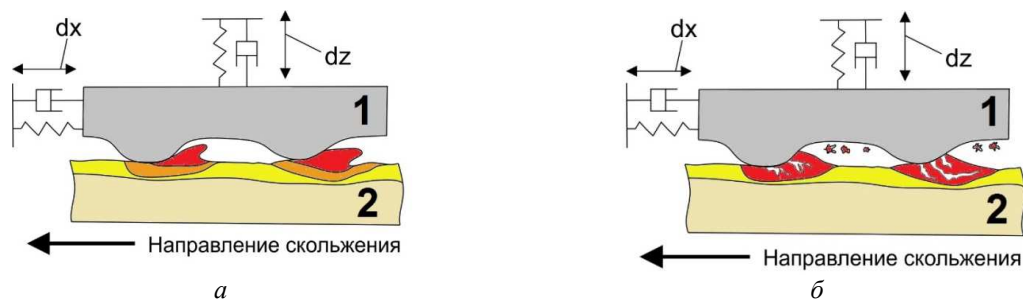


Рис. 7. Схематичное представление распространения поля деформации в неупрочненном (а) и деформационно-упрочненном материалах (б): 1 – контртело (шарик), 2 – образец, dx – смещение в горизонтальной плоскости, dz – смещение в вертикальной плоскости

В результате выполненных экспериментальных исследований установлено, что при сухом трении скольжения материала с ультрамелкозернистой структурой амплитуда вибраций трибологической системы выше, чем при трении материала с крупнокристаллической структурой. Установлены отличительные особенности в изменении амплитуды сигнала АЭ и его медианной частоты, выражающиеся в локальном падении медианной частоты АЭ в области всплеска амплитуды АЭ при трении деформационно-упрочненного материала. Такое поведение амплитуды сигнала и его частоты характерно для условий хрупкого разрушения приповерхностного слоя образца.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00058.

Список литературы

1. Bahi S, Nouari M, Moufki A, El Mansori M, Molinari A. A new friction law for sticking and sliding contacts in machining. Tribol Int 2011;44:764–71. doi:10.1016/j.triboint.2011.01.007.
2. Halila F, Czarnota C, Nouari M. A new abrasive wear law for the sticking and sliding contacts when machining metallic alloys. Wear 2014;315:125–35. doi:10.1016/j.wear.2014.03.013.
3. Atlati S, Moufki A, Nouari M, Haddag B. Interaction between the local tribological conditions at the tool- chip interface and the thermomechanical process in the primary shear zone when dry machining the aluminum alloy AA2024-T351. Tribol Int 2017;105:326–33. doi:10.1016/j.triboint.2016.10.006.
4. Xu J, Li J, Shan D, Guo B. Microstructural evolution and micro/meso-deformation behavior in pure copper processed by equal-channel angular pressing. Mater Sci Eng A 2016;664:114–25. doi:10.1016/j.msea.2016.03.016.
5. Valiev RZ, Kozlov E V., Ivanov YF, Lian J, Nazarov AA, Baudelet B. Deformation behaviour of ultra-fine-grained copper. Acta Metall Mater 1994;42:2467–75. doi:10.1016/0956-7151(94)90326-3.
6. Munoa J, Beudaert X, Dombovari Z, Altintas Y, Budak E, Brecher C, et al. Chatter suppression techniques in metal cutting. CIRP Ann - Manuf Technol 2016;65:785–808. doi:10.1016/j.cirp.2016.06.004.
7. Câmara MA, Abrão AM, Rubio JCC, Godoy GCD, Cordeiro BS. Determination of the Critical Undeformed Chip Thickness in Micromilling By Means of the Acoustic Emission Signal. Precis Eng 2016. doi:10.1016/j.precisioneng.2016.06.007.
8. Huang PL, Li JF, Sun J, Jia XM. Cutting signals analysis in milling titanium alloy thin-part components and non-thin-wall components. Int J Adv Manuf Technol 2016;84:2461–9. doi:10.1007/s00170-015-7837-0.
9. Bhuiyan MSH, Choudhury IA, Dahari M, Nukman Y, Dawal SZ. Application of acoustic emission sensor to investigate the frequency of tool wear and plastic deformation in tool condition monitoring. Measurement 2016;92:208–17. doi:10.1016/j.measurement.2016.06.006.
10. Skrickij V, Bogdevicius M, Junevicius R. Diagnostic features for the condition monitoring of hypoid gear utilizing the wavelet transform. Appl Acoust 2016;106:51–62. doi:10.1016/j.apacoust.2015.12.018.
11. Papacharalampopoulos A, Stavropoulos P, Doukas C, Foteinopoulos P, Chrysosolouris G. Acoustic emission signal through turning tools: A computational study. Procedia CIRP 2013;8:426–31. doi:10.1016/j.procir.2013.06.128.
12. Bhuiyan M, Choudhury S, Nukman Y. Tool condition monitoring using acoustic emission and vibration signature in turning. Proc World ... 2012;III:2–6.

13. Bhuiyan MSH, Choudhury IA, Nukman Y. An innovative approach to monitor the chip formation effect on tool state using acoustic emission in turning. *Int J Mach Tools Manuf* 2012;58:19–28. doi:10.1016/j.jmachtools.2012.02.001.
14. Loutas TH, Roulias D, Pauly E, Kostopoulos V. The combined use of vibration, acoustic emission and oil debris on-line monitoring towards a more effective condition monitoring of rotating machinery. *Mech Syst Signal Process* 2011;25:1339–52. doi:10.1016/j.ymssp.2010.11.007.
15. Liu X, Wu X, Liu C. A comparison of acoustic emission and vibration on bearing fault detection. 2011 *Int Conf Transp Mech Electr Eng* 2011:922–6. doi:10.1109/TMEE.2011.6199353.
16. Elforjani M, Mba D. Accelerated natural fault diagnosis in slow speed bearings with Acoustic Emission. *Eng Fract Mech* 2010;77:112–27. doi:10.1016/j.engfracmech.2009.09.016.
17. Vervloet D, Nijenhuis J, van Ommen JR. Monitoring a lab-scale fluidized bed dryer: A comparison between pressure transducers, passive acoustic emissions and vibration measurements. *Powder Technol* 2010;197:36–48. doi:10.1016/j.powtec.2009.08.015.
18. Loutas TH, Sotiriades G, Kalaitzoglou I, Kostopoulos V. Condition monitoring of a single-stage gearbox with artificially induced gear cracks utilizing on-line vibration and acoustic emission measurements. *Appl Acoust* 2009;70:1148–59. doi:10.1016/j.apacoust.2009.04.007.
19. Filippov AV, Tarasov SY, Fortuna SV, Podgornyykh OA, Shamarin NN, Rubtsov VE. Microstructural, mechanical and acoustic emission-assisted wear characterization of equal channel angular pressed (ECAP) low stacking fault energy brass. *Tribol Int* 2018;123:273–85. doi:10.1016/j.triboint.2018.03.023.
20. Lychagin DV, Filippov AV, Kolubaev EA, Novitskaia OS, Chumlyakov YI, Kolubaev AV. Dry sliding of Hadfield steel single crystal oriented to deformation by slip and twinning: Deformation, wear, and acoustic emission characterization. *Tribol Int* 2018;119:1–18. doi:10.1016/j.triboint.2017.10.027.
21. Filippov AV, Rubtsov VE, Tarasov SY, Podgornyykh OA, Shamarin NN. Detecting transition to chatter mode in peakless tool turning by monitoring vibration and acoustic emission signals. *Int J Adv Manuf Technol* 2018;95:157–69. doi:10.1007/s00170-017-1188-y.
22. Filippov AV, Rubtsov VE, Tarasov SY. Acoustic emission study of surface deterioration in tribocontacting. *Appl Acoust* 2017;117:106–12. doi:10.1016/j.apacoust.2016.11.007.

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ РАЗЛИВКИ ФЕРРОСПЛАВОВ

Е.Н. Несипбек студ. группы 10В41,

научный руководитель: О.И. Нохрина профессор

Юргинский технологический институт (филиал)

Томского политехнического университета

652050, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская 26.

e-mail:ekosh170396@mail.ru

Разливка металла в современном производстве ферросплавов производится несколькими наиболее распространенными методами:

- разливка в изложницы;
- разливка на разливочных машинах;
- полигонная разливка.

Разливка ферросплавов в изложницы – один из наиболее ранних способов разливки, однако до сих пор применяется для разливки кремнистых и хромистых ферросплавов. Существует две разновидности разливки в изложницы:

1. Разливка в водонеохлаждаемые чугунные изложницы (поддоны). Применяется для разливки кремнистых (ферросилиций, кремний кристаллический) и хромистых (низкоуглеродистый феррохром) сплавов.

Изложницы должны быть установлены горизонтально для обеспечения их равномерного заполнения. Для сокращения потерь металла изложницы устанавливают вплотную друг к другу. Углы изложниц, а также разрушенные места бортов подсыпают порошком выплаваемого сплава. Для предотвращения изложницы от размывания на место падения струи кладут кусок сплава того же состава, что и выплаваемый металл. Кремнистые сплавы разливают в стационарные чугунные изложницы с толщиной слитка до 100 мм, хромистые – до 60 мм. Большая толщина слитков металла способствует развитию ликвации и получению неоднородного слитка. Для хромистых сплавов с большой толщиной слитка существенно возрастают трудности по их дроблению.